

NUEVOS DISPOSITIVOS PARA COMUNICACIONES POR FIBRAS OPTICAS

J.A. MARTIN PEREDA

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACION
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

I. LOS DISPOSITIVOS ELECTROOPTICOS COMO PUNTO DE ENCUENTRO DE DIFERENTES TECNICAS.

Los dispositivos electroópticos han sido considerados como la piedra angular de todas aquellas aplicaciones del láser en las que era necesaria una modulación o una deflexión del haz emitido por éste. El caso más concreto ha sido, sin duda, su aplicación en Comunicaciones Ópticas en las que, partiendo de un laser de onda continua, se deseaba superponer a su haz la información a transmitir. Este tipo de aplicaciones, debido al protagonismo casi absoluto que han tomado los emisores de semiconductor en los últimos diez años con la aparición de las fibras ópticas, ha quedado reducido al caso del empleo de láseres de CO_2 y de Nd:YAG, sobre todo el primero, para comunicaciones a través de la atmósfera. A pesar de ello, su estudio no ha dejado de tener una importancia realmente apreciable debido a que, como se verá posteriormente, han surgido una serie de hechos en los últimos tres años que han revitalizado su uso en otras aplicaciones. Uno de ellos es el de la introducción de los biestables ópticos que, como ya se anuncia, pueden suponer un nuevo punto de partida, análogo al que pudo suponer la invención del transistor o del propio láser. Por otra parte, aunque el hecho de la modulación está resuelto de forma automática para los láseres de semiconductores, por su propia forma de trabajo, no ocurre lo mismo con toda una serie de elementos imprescindibles en todo sistema de comunicaciones que requieren una cierta transformación de la señal óptica. Es el caso, por ejemplo, de los conmutadores, en los que las señales de una serie de canales de entrada han

de ser encaminadas, de manera variable, a otros de salida. O el de los regeneradores o conformadores de señales ópticas, que tratan de remodelar un pulso deformado en otro equivalente al inicial. En todas estas ocasiones, los dispositivos electroópticos siguen siendo necesarios y su estudio está aún bastante lejos de haber sido concluido.

En paralelo con el camino anterior, existen en la actualidad serios intentos de realización de nuevos dispositivos totalmente ópticos en los cuales la parte electrónica quede reducida al mínimo imprescindible. Su objetivo final sería el desarrollo de funciones análogas a las realizadas hoy mediante técnicas electrónicas con medios absolutamente ópticos. De análoga manera a como el campo eléctrico altera las propiedades ópticas de algunos materiales, así la radiación de un láser puede modificar también las de otros. Estos nuevos dispositivos, que provisionalmente han sido designados en algunas partes como optoópticos, podemos englobarlos en el mismo grupo que los anteriores a la espera de una nueva clasificación.

De los dos conjuntos de dispositivos anteriores, uno nuevo ha hecho su aparición recientemente. Es el de los biestables ópticos, ya avanzados previamente, y cuyo estudio está aún en sus primeros pasos. La mayor parte de las funciones electrónicas empleadas en diversos campos, pueden ser implementadas con ellos con las ventajas inherentes a todo sistema óptico en lo que se refiere a velocidad y a inmunidad contra perturbaciones del exterior.

Y con los dispositivos biestables llegamos a ese punto de encuentro de muy distintos campos que iniciaba este apartado. El poder realizar casi cualquier tipo de funciones ha llevado consigo al de ver su posible empleo como puertas lógicas. Y esta posibilidad parece un hecho. Y con ello los computadores ópticos pueden presentarse como derivados de una tecnología cuya raíz estaba más próxima a las Comunicaciones Ópticas que a los actuales sistemas de ordenadores. El encuentro se ha llevado a cabo y, quizás, con él la unión en un futuro no muy lejano de dos campos en principio desconexos: el de las comunicaciones ópticas y el de la computación óptica, que en su estado actual, esto es electrónico, también forman

parte de un bloque casi único. De una manera esquemática, todo lo anterior, conjuntamente con su conexión a otros campos, aparece en el cuadro I.

II. DISPOSITIVOS ELECTROOPTICOS : CONCEPTOS GENERALES

De una manera muy amplia, dispositivo electroóptico puede ser todo elemento en el que mediante campos eléctricos se pueda alterar las propiedades de una radiación luminosa en su paso a través de un cierto material afectado por aquellos. En concreto, un campo eléctrico aplicado sobre algunos materiales puede llegar a alterar sus características ópticas; por ello una radiación óptica que pase por dicho material verá alterado su paso según haya o no campo eléctrico aplicado.

Son así tres los elementos necesarios para que exista un dispositivo electroóptico : un campo eléctrico, una radiación óptica y un material electroóptico. De los tres, el más crucial es el último ya que lo que se obtenga a la salida dependerá, en gran parte, de él. La velocidad de modulación, las posibilidades de error, el consumo de potencia son, entre otros, factores que pueden servir para optar por un cierto material o para descalificarle.

Desde el principio de la década de los 60, en que comenzaron a ser estudiados, el interés se ha centrado preferentemente en los materiales sólidos, por lo general monocristalinos. Aparte de las innegables ventajas que poseen en lo que se refiere sobre todo a velocidad y a relación potencia/velocidad, existe otra que es además importante para su utilización. Es la de que al tratarse de sistemas monocristalinos el estudio físico de su comportamiento es bastante más fácil, y está más desarrollado que otros sistemas materiales como amorfos, líquidos o gases.

A pesar de lo anterior, o quizás por ello, el grupo de Electrónica Cuántica de la UPM centró sus estudios en este campo, en materiales algo alejados de los que las previsiones parecen indicar como los más idóneos. Los tomados fueron los cristales líquidos cuyas desventajas con respecto a cualquier otro material convencional eran evidentes. La razón de ello

se centró en varios puntos. Uno, quizás el más significativo, era que desde un punto de vista puramente de conocer las diferentes técnicas de modulación, los cristales líquidos ofrecen una serie de ventajas que los materiales sólidos no ofrecen. Entre ellas, las más significativas son la de voltajes varios órdenes de magnitud inferiores y una mayor comodidad para su utilización. Además, y aunque sea una razón un tanto prosaica, el costo es, también, dos o tres órdenes de magnitud inferior. Por otra parte, las desventajas son también evidentes y a ningún observador un poco conocedor del tema se le escapa. La principal se refiere a la de las pequeñas velocidades de trabajo que se pueden alcanzar. Otra, algo menos significativa, es la que su comportamiento sólo se puede garantizar dentro de un limitado margen de temperaturas alrededor, en media, de unos 40°C. Con todo ello, los resultados que se obtienen son, por una parte muy satisfactorios y por otra, dan pie para poder seguir trabajando después con materiales sólidos. Porque, de hecho, los conceptos que se manejan utilizando cristales líquidos son muy similares a los que se emplean con otros cuerpos. Y conocer a fondo lo que ocurre en aquellos implica poder ponerse muy pronto al día cuando se inicia el camino de los materiales convencionales. Quizás el inconveniente mayor, o la mayor ventaja dependiendo del punto de vista con el que se mire, es que los cristales líquidos son notoriamente más complejos, en lo que a su comportamiento físico se refiere, que los monocristales. Las inestabilidades hidrodinámicas que presentan no las tienen los sólidos, y debido a ellas aparecen fenómenos que, a veces, son bastante difíciles de explicar. De cualquier manera, adquirir una cierta familiaridad con los fenómenos electroópticos a través de los cristales líquidos permite su aplicación, con los adecuados cambios, al resto de los materiales.

Establecido ya que el principio de trabajo de todos los dispositivos electroópticos es el mismo sólo resta ya dar unas breves ideas de su funcionamiento. En general, aunque muy diferentes formas de empleo son posibles, las más empleadas son las que se refieren a su uso como moduladores de magnitud y como deflectores. Otros tipos de moduladores, que aquí veremos muy someramente, son los moduladores de fase, los de po-

larización y los de longitud de onda. Los deflectores de haces ópticos, normalmente empleados para conmutadores en Comunicaciones Ópticas, pueden constituir también un cierto tipo de moduladores ya que la información puede superponerse a la deflexión.

Los efectos empleados, que designaremos como electroópticos, son todos aquellos que, por la aplicación de un campo eléctrico, se producen cambios en el índice de refracción, o en la absorción en el material o en la dispersión del haz a su paso por éste. Este último efecto es casi característico especialmente en los cristales líquidos. El efecto más importante de los mencionados es el de la variación del índice de refracción. Si este cambio es lineal con la amplitud del campo eléctrico, el efecto se conoce como efecto lineal o Pockels. Este efecto, como puede demostrarse, sólo puede observarse en sólidos cristalinos que carecen de centro de simetría. Efectos que dependen de la segunda potencia del campo o superiores se presentan en un gran número de materiales. El efecto de segundo orden, encontrado en los líquidos, se conoce como efecto Kerr.

La magnitud del efecto electroóptico lineal se calcula mediante los coeficientes electroópticos que relacionan los cambios en el índice de refracción con la amplitud del campo aplicado. Estos coeficientes son los elementos de un tensor de tercer grado que relacionan el campo aplicado y las direcciones de propagación referidas a los ejes cristalinos. El índice de refracción de un material cristalino viene especificado por un elipsoide de índices cuyos ejes principales están relacionados con el índice según esa dirección por $n_i = 1/\sqrt{B_i}$ siendo B_i la longitud de dicho eje. Concretándonos al caso de los cristales líquidos, dos son los índices principales que existen y que se designan por n_o y n_e . Dado que ambos coinciden, respectivamente, con los ejes cortos y largo (Figura 1) de la molécula, las diferentes situaciones aparecen en la Figura. Valores típicos pueden ser $n_e \approx 1.8$ y $n_o \approx 1.5$. Para materiales sólidos, como el NbO_3Li , el AsGa o el OZn , la expresión que da la variación del índice con el campo, es de la forma

$$\Delta n = n'^3 r' E/2$$

siendo los valores típicos :

MATERIAL	$\lambda (\text{\AA})$	n'	$r' (10^{-12} \text{ m/v})$	$\Delta n (E=10^4 \text{ V/cm})$
NbO ₃ Li	6328	2.203	30	$1.6 \cdot 10^{-4}$
A _s Ga	9000	3.6	1.2	$2.8 \cdot 10^{-5}$
O Zn	6328	2.015	2.6	$1.1 \cdot 10^{-5}$

Teniendo en cuenta que para los cristales líquidos, en estructuras convencionales, con voltajes del orden de 7 volts y espesores de la muestra de 50 μm , se puede conseguir una variación de $\Delta n \approx 0.3$, este valor es considerablemente superior al obtenido en los sólidos, lo cual es una ventaja notoria.

Basado en lo anterior se han desarrollado la serie de moduladores y deflectores que aparecen en los artículos del Apéndice.

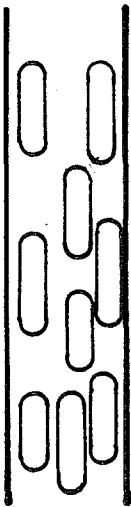
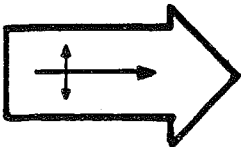
III. BIESTABLES OPTICOS : NOCIONES GENERALES

El concepto básico del que se deriva la biestabilidad óptica fue sugerido en 1977 pero hasta el comienzo de los ochenta no empezó a ser aplicada a casos concretos. En los artículos del Apéndice se encuentra desde sus conceptos generales a algunas aplicaciones desarrolladas por el grupo.

CELULA DE
CRISTAL LIQUIDO

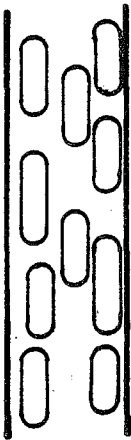
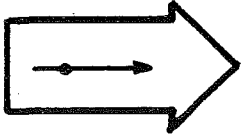
INDICE DE REFRACCION
VISTO POR EL HAZ

LASER



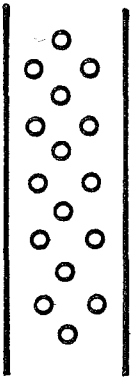
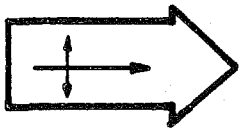
n_e

LASER



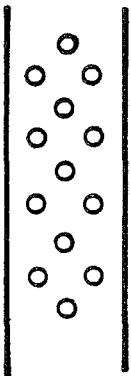
n_o

LASER



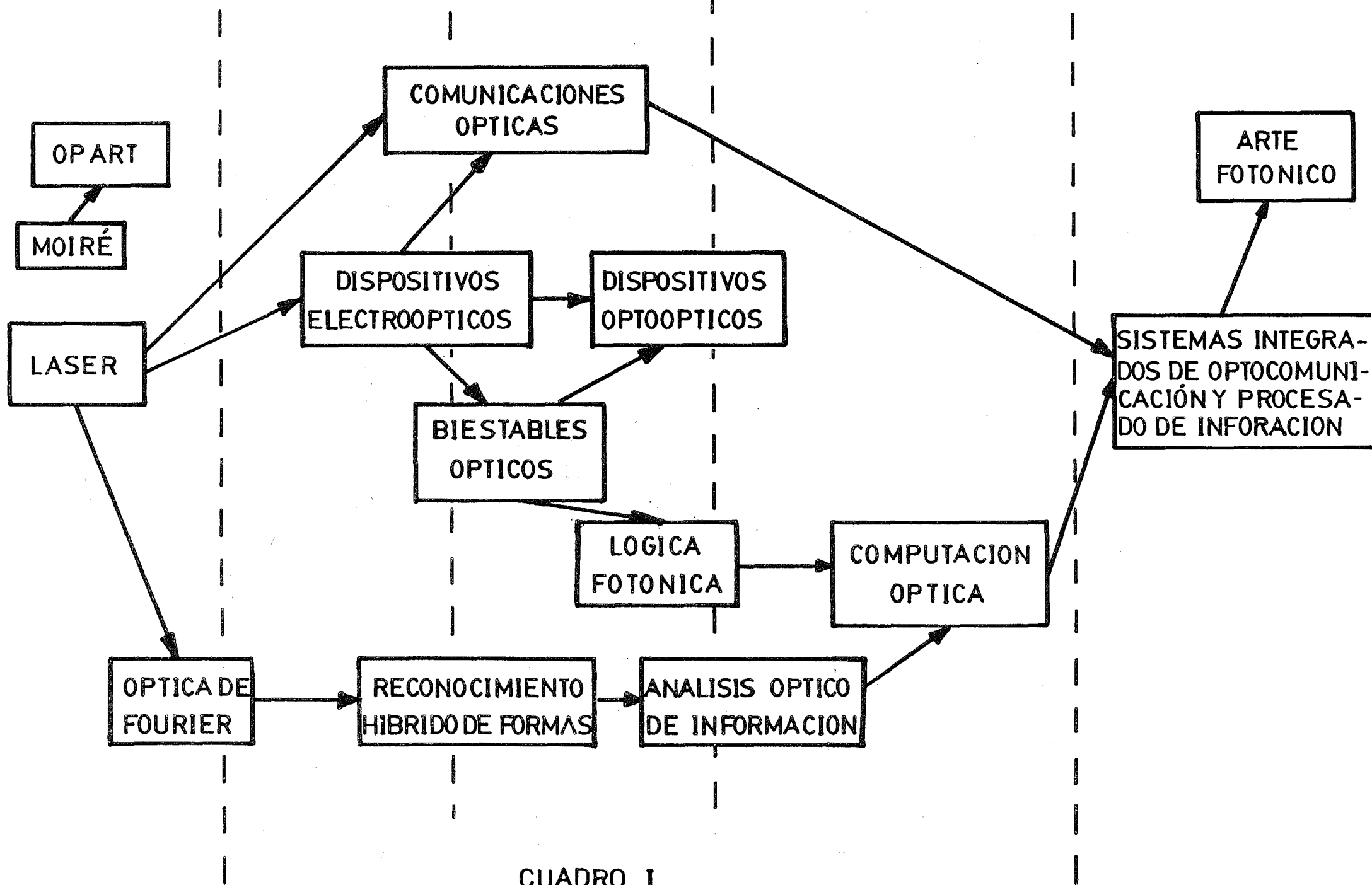
n_o

LASER



n_e

Figura 1



CUADRO I